



Workshop
Bouw je eigen fijnstofmeter

Interreg
Vlaanderen - Nederland
PROJECT ZUIVERE LUCHT
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling



EUROPESE UNIE

Deze presentatie geeft meer informatie over het bouwen van je eigen fijnstofmeter.

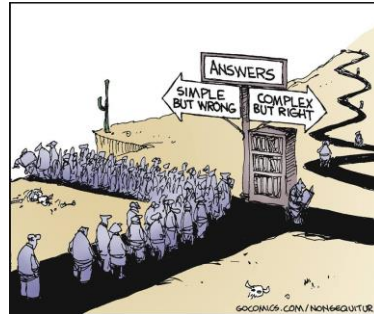
Overzicht

- **Inleiding**

- *Wat is luchtkwaliteit?*
- *Wat is fijn stof?*

- **PM-sensor**

- *Werking*
- *Voor-en nadelen*
- *Vergelijking met de referentiemethoden*



Eerst krijg je meer uitleg over wat luchtkwaliteit inhoudt en wat fijn stof is, je zult al snel merken dat het een complex verhaal is. Vervolgens leggen we de werking van de fijnstofmeter uit en de voor- en nadelen van dit toestel.

Lucht & Luchtkwaliteit

• Gassen

- Vooral zuurstof- en stikstofgas, ook argon en koolstofdioxide (CO₂)
- Kleine hoeveelheden van andere gassen die (samen met fijn stof) de luchtkwaliteit bepalen
 - Bv. stikstofdioxide (NO₂), ozon (O₃)

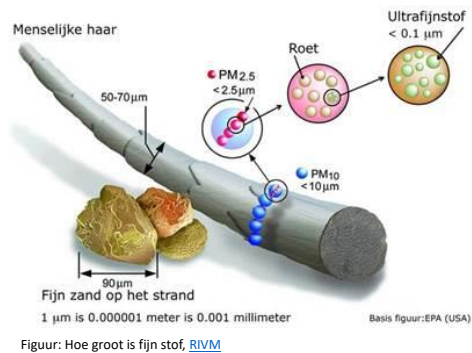
• Fijn stof

- Verzamelterm voor zeer kleine deeltjes die in lucht zweven
- *Particulate matter* (PM)

Wat bepaalt je luchtkwaliteit nu juist? Wel, lucht bestaat uit gassen en deeltjes. Die gassen, zijn voornamelijk zuurstofgas en stikstofgas en in mindere mate argon en koolstofdioxide. Maar in lucht zijn er ook nog heel veel andere gassen aanwezig, in veel kleinere hoeveelheden, bijvoorbeeld stikstofdioxide en ozon. Het zijn deze gassen die samen met fijn stof de luchtkwaliteit bepalen.

Fijn stof, een verzamelterm voor zeer kleine deeltjes die in de lucht zweven, is wat we gaan meten met onze zelf gebouwde sensor. Men kort fijn stof ook af als PM, wat staat voor *Particulate matter*.

Hoe groot is fijn stof?

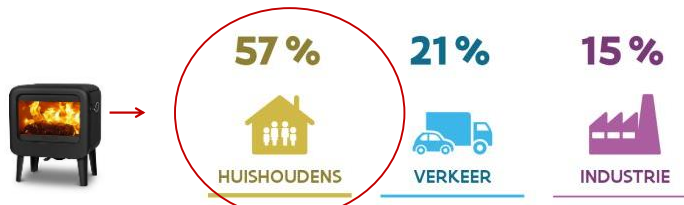


Hoe fijn is fijn stof nu juist? Wel, zand heeft een diameter kleiner dan 90 µm, een haar heeft een diameter van 50 µm en fijn stof heeft een diameter kleiner dan 10 µm, vandaar PM₁₀.

Fijn stof delen we verder in volgens de grootte. Zo spreken we ook over PM_{2,5}, dat is fijn stof met een diameter kleiner dan 2,5 µm. Je ziet fijn stof dus niet met het blote oog. En daarin schuilt net hun gevaar. Want hoe kleiner zulke deeltjes zijn, hoe dieper ze je longen binnendringen. En dat heeft dan weer gevolgen voor je luchtwegen en hart- en vaatstelsel.

Waar komt fijn stof vandaan?

- **Primair:** Rechtstreeks uitgestoten



@ Primaire totale PM_{2.5} uitstoot in 2016, Jaarrapport Lucht-Emissies 2000-2016 en Luchtkwaliteit in 2017 in Vlaanderen

- **Secundair:** door reactie van gassen in atmosfeer
 - Ammoniak (NH₃) vooral uit landbouw (veeteelt)
 - Stikstofoxiden (NO_x) (diesel)verkeer
 - Zwaveldioxide (SO₂) industrie

We kunnen fijnstofdeeltjes dus onderverdelen naargelang hun grootte, maar ook op basis van hun oorsprong. Wanneer fijn stof rechtstreeks in de lucht komt, spreken we over **primair stof**. Als we kijken naar de rechtstreekse uitstoot, is gebouwenverwarming de belangrijkste bron van primair fijn stof in onze regio. Daarna volgen verkeer en industrie.

Wanneer fijn stof ontstaat door reacties van gassen in de lucht spreken we van **secundair stof**. De belangrijkste bronnen van die gassen zijn landbouw, en in hoofdzaak veeteelt voor ammoniak, (diesel)verkeer voor stikstofdioxide en de industrie voor zwaveldioxide.

Houtverbranding



@ Infographic houtverbranding, [website VMM](#)

Houtverbranding produceert dus meer primair fijn stof dan verkeer. Twee uur je huis verwarmen met 4 kg hout in een open haard, komt overeen met de afstand Brussel-Moskou afleggen met de auto. De opstart van een houtkachel kan je bijvoorbeeld meten met je PM-sensor. Je zal dan een piek waarnemen.

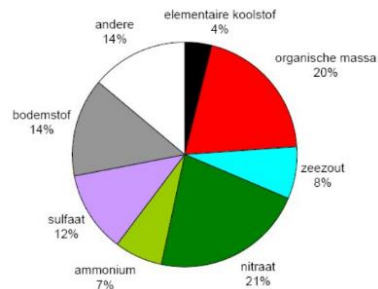
Verkeer: niet-uitlaat emissies



Verkeer is de tweede belangrijkste bron van de uitstoot van primair fijn stof. Binnen deze sector is driekwart afkomstig van het wegverkeer. En hiervan is meer dan de helft afkomstig van niet-uitlaat, meer bepaald door de slijtage van remmen, banden en het wegdek. Doordat het aantal personenwagens en de gereden kilometers blijft stijgen, krijgen we een toename van de niet-uitlaatemissies van fijn stof. Elektrische voertuigen zullen dus lokaal fijn stof blijven uitstoten.

Samenstelling fijn stof

- Secundaire anorganische ionen (= ammoniumzouten)
- Organische deeltjes
- Mineraal stof
- Zeezout
- Roet
- Andere

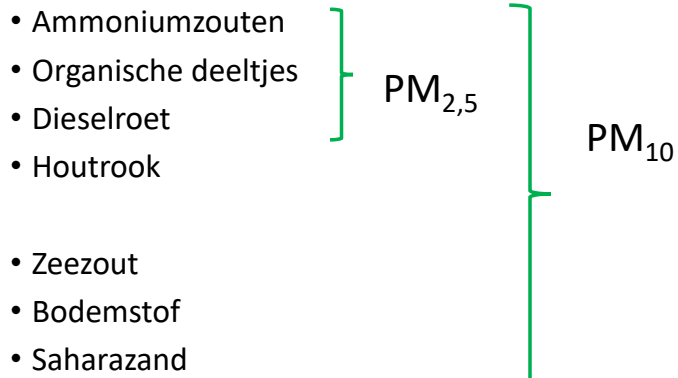


@ Gemiddelde samenstelling van PM10 voor alle stations samen_ [Chemkar studie](#)

Fijn stof is altijd een mengsel van verschillende soorten deeltjes. De grootste fractie van fijn stof bestaat doorgaans uit de **secundaire anorganische ionen, ook wel ammoniumzouten genaamd**. Dit zijn deeltjes die in de lucht ontstaan door reacties van ammoniak, stikstofoxiden en zwaveldioxiden, het is het secundair anorganisch fijn stof. In de figuur is dit weergegeven als nitraat, ammonium en sulfaat, die samen gemiddeld zo'n 40% van het fijn stof vormen dat in de lucht aanwezig is. Fijn stof bestaat ook uit **organische deeltjes**, dit is een gevarieerde groep van koolstof bevattende deeltjes die onder andere ontstaan bij de verbranding van hout en de uitstoot van verkeer en industrie.



Dan heb je nog het **mineraal stof**; dit zijn de vaak grovere deeltjes afkomstig van bijvoorbeeld de slijtage van het wegdek, het opwaaien van bodemstof of zelfs heel af en toe Saharazand. Dan heb je nog deeltjes die ontstaan boven de zee, **zeezout**. Als laatste bestaat fijn stof ook nog uit elementaire **koolstof** of roet. Dit zijn fijne, zwarte deeltjes die ontstaan bij de verbranding van diesel en andere zware brandstoffen. Soms worden die ook zwarte koolstof genoemd maar dat is eerder een technische discussie. Naast deze vijf groepen heb je ook nog een deel '**onverklaarde massa**'. Deze bestaat waarschijnlijk voor een groot deel uit water dat gebonden is aan het fijn stof

PM₁₀ vs PM_{2,5}

- Ammoniumzouten
 - Organische deeltjes
 - Dieselroet
 - Houtrook
- PM_{2,5}
- Zeezout
 - Bodemstof
 - Saharazand
- PM₁₀
- 

Als we gaan kijken naar PM_{2,5} bestaat dit voornamelijk uit secundair stof en uit primair stof dat ontstaat door verbranding van diesel en hout. PM₁₀, bevat naast primair en secundair stof ook nog de grovere deeltjes zoals het zeezout, bodemstof en Saharazand.

Richt- en grenswaarden

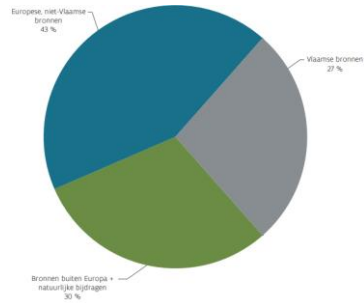
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	 World Health Organization	
PM _{2,5}	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (jaar) 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dag) max. 3d	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (jaar) /
PM ₁₀	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (jaar) 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dag) max.3d	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (jaar) 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (dag) max.35d

“Concentraties laatste jaren wel gedaald, maar nog niet laag genoeg”

De Europese richtlijn 2008/50/EG definieert grenswaarden voor PM₁₀ en voor PM_{2,5}. De Wereldgezondheidsorganisatie heeft voor PM₁₀ advieswaarden opgesteld, die veel strenger zijn dan de Europese grenswaarden. De WGO baseert zich voor het bepalen van haar advieswaarden enkel op gezondheidsstudies en houdt dus geen rekening met haalbaarheid of economische belangen. Volgens de WGO is er voor fijn stof geen veilige drempelwaarde waaronder geen nadelige effecten voorkomen. Minder stof is dus altijd beter. Enkel de Europese grenswaarden zijn wettelijk bindend.

Waar komt fijn stof vandaan?

- Uitstoot andere gewesten en buitenland
 - Niet-Vlaamse bronnen dragen sterk bij (70-80%) aan fijn stof in onze omgevingslucht
 - Maar: export uit Vlaanderen = 1,5 x import in Vlaanderen



@ Gemiddelde oorzaak PM_{2,5} concentraties in Vlaanderen (%), , [jaarrapport lucht-Emissies 2000-2016 en luchtkwaliteit in 2017 in Vlaanderen](#)

Een groot deel, zo'n 70 à 80% van het fijn stof dat in Vlaanderen in de lucht zit is afkomstig van bronnen buiten Vlaanderen importeert heel wat luchtvervuiling maar exporteert nog veel meer. Uit berekeningen volgt dat Vlaanderen ongeveer 1,5 keer zoveel fijn stof naar het buitenland exporteert dan dat het importeert vanuit het buitenland. Dit geldt zowel voor PM_{2,5} als voor PM₁₀.

Variatie in PM-concentratie?



Wind, temperatuur, relatieve vochtigheid, zonlicht spelen allemaal een rol!

13/05/2019

12

Het weer heeft een grote invloed op de concentraties fijn stof. PM10-smogepisoden komen vooral voor in de winter bij lage windsnelheden en bij een temperatuursinversie. Een temperatuursinversie komt voor als de temperatuur vanaf een bepaalde hoogte begint te stijgen. Normaal daalt de temperatuur met de hoogte. Zo'n inversielaag gedraagt zich als een plafond waaronder de luchtverontreiniging gevangen zit. Lage windsnelheden en een temperatuursinversie zorgen voor een slechte verdunning en opstapeling van de lokale luchtverontreiniging in de omgevingslucht. Bovendien is er in koude periodes meer houtstook, met een verhoogde lokale uitstoot van heel wat luchtverontreinigende stoffen, waaronder fijn stof.

Onder bepaalde omstandigheden kunnen ook in het voorjaar hoge PM10-concentraties gemeten worden. Naast ongunstige verdunningsomstandigheden, speelt in deze periode van het jaar ook de uitstoot van ammoniak door de landbouw bij de bemesting van akkers een belangrijke rol. Dit ammoniak reageert met de aanwezige stikstofoxides en zwaveldioxide tot ammoniumzouten, die een belangrijk onderdeel vormen van het secundair gevormd fijn stof. Omstandigheden met koude en vochtige nachten, weinig wind en relatief zachte temperaturen zijn ideaal voor de vorming van dit secundair stof.

Verskil tussen sensor en referentie monitor

	Referentie monitor	Goedkope sensor
Kostprijs (€)	15.000-50.000	20-200
Onderhoudskosten	Hoog	Laag
Locatie	Vaste locatie	Draagbaar
Opleiding	Technisch, opgeleid personeel	Weinig opleiding is vereist
Data kwaliteit	Bekende en consistente kwaliteit	Onbekend en veel variatie tussen de sensoren, niet stabiel onder verschillende weersomstandigheden
Levensduur	10 jaar	1 jaar of onbekend
Gebruiken voor jaargemiddelde	Ja	Nee

De luchtkwaliteit kan op verschillende manieren gemeten worden. Dit is een vergelijking tussen een referentiemonitor, die gebruikt wordt om de luchtkwaliteit te toetsen aan de Europese normen, en goedkope sensoren.

Het enorme prijsverschil doet al vermoeden dat ook de kwaliteit heel verschillend is. Een referentiemonitor een bekende en consistente kwaliteit heeft en ongeveer 10 jaar kan meegaan, is de kwaliteit van goedkope sensoren veel minder goed gekend. Er kan verschil zitten tussen sensoren van hetzelfde type en de metingen zijn soms erg gevoelig aan weersomstandigheden. Ook de levensduur is eerder beperkt.

Eigenlijk komt het er op neer dat goedkope sensoren soms goed kunnen meten, maar soms ook sterk kunnen afwijken. Dit maakt ze niet geschikt om de jaargemiddelden voldoende juist in te schatten om te kunnen toetsen aan de vastgelegde Europese normen.

Maar goedkope sensoren bieden ook enkele voordelen in vergelijking met de referentie monitoren. Ze zijn klein en dus mobiel inzetbaar. En bovendien zijn ze relatief eenvoudig in gebruik voor een groot publiek. Zo bieden ze mogelijkheden voor burgerwetenschap en is het mogelijk om een dicht netwerk van sensoren uit te bouwen. Het blijft echter wel belangrijk om bij het gebruik van sensoren ook de nadelen in het achterhoofd te houden.

Hoe meet de VMM fijn stof

- Continue automatische monitoren
 - Real-time resultaten voor bevolking
 - Diverse meetprincipes, waaronder optisch (bv. FIDAS)
- Europese referentiemethode voor PM₁₀ en PM_{2,5}
 - Stof aanzuigen op een filter gedurende 1 dag
 - Filter wordt gewogen vóór en na monsterneming



De Vlaamse Milieumaatschappij gebruikt in de standaardaanpak automatische monitoren die werken volgens het principe van lichtverstrooiing. Met de lichtverstrooiing kan het aantal en de grootte van de stofdeeltjes gemeten worden. De monitor berekent hieruit dan PM concentraties.

Semiautomatische toestellen werken volgens de gravimetrische referentiemethode. Hierbij bepalen we de massa door een filter te wegen voor en na er lucht mee wordt bemonsterd. Deze methode is arbeidsintensief en geeft geen onmiddellijke resultaten.

De PM-sensor

Laser PM2.5 Sensor specification

Product model: SDS011
Version: V1.3

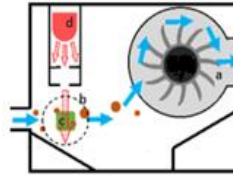


Nova Fitness SDS011

We gaan hier aan de slag met de Nova Fitness SDS011, een fijn stof sensor die het meeste gebruikt wordt door burgerwetenschappers. Deze goedkope fijnstofsensoren worden aangeboden als een toestel voor het meten van $PM_{2.5}$.

Werkingsprincipe SDS011

- **Deeltjes** verstrooien licht richting een **detector** (fotodiode)
- De sensor schat de massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) op basis van het gemeten signaal

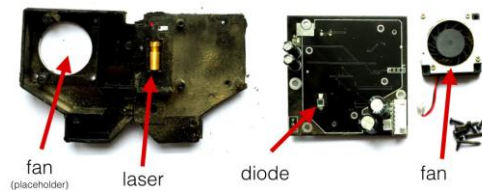


ventilator (a), lichtstraal (b), detector (c), laser (d)

Dit is een schematische voorstelling van de binnenkant van de SDS011. De blauwe pijltjes tonen hoe de lucht van buitenaf wordt aangezogen door de ventilator. De lucht, waarin de fijn stof deeltjes zitten, passeert hierdoor door een lichtstraal van een laser. Deze lichtstraal valt in op de stroom van binnenkomende deeltjes die licht verstrooien richting de detector, op de tekening voorgesteld door het groene vierkantje met de letter c. Hoe meer deeltjes er aanwezig zijn en hoe groter deze deeltjes zijn, hoe meer verstrooiing van licht. Op basis van de gemeten verstrooiing maakt de sensor een schatting van de massa, die wordt uitgedrukt in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze meting die gebaseerd is op de verstrooiing van licht, noemen we een optische meting.

Eigenschappen

- Levensduur: ca. 8000 uur (continu), langer bij aan/af (*lufdaten aanpak*)
- $PM_{2,5}$ sensor (geeft ook PM_{10} , maar niet betrouwbaar)
- stroomverbruik: enkele EUR per jaar

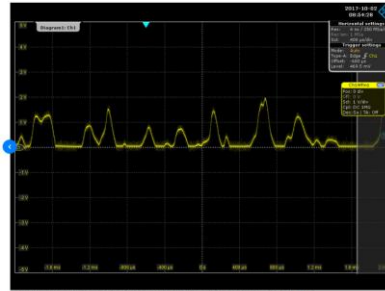


Enkele eigenschappen van de sensor zijn dat bij continu gebruik de levensduur volgens de fabrikant ongeveer 8000 uur is, of ongeveer 1 jaar. Lufdaten, het grootste Europese burgerplatform voor sensormetingen, programmeert de software zo dat de sensor slechts om de 2.5 minuut een 15-tal seconden metingen uitvoert en tussentijds wordt uitgeschakeld, wat de levensduur verhoogt tot meerdere jaren. Dit is trouwens ook de software die op de sensor geprogrammeerd gaat worden, maar daarover straks meer. Verder is de SDS011 sensor dus vooral geschikt voor het meten van $PM_{2,5}$. Hij geeft ook een waarde voor PM_{10} , maar deze is niet betrouwbaar. En ten derde kunnen we meegeven dat hij weinig stroom verbruikt. Je rekening zal voor een volledig jaar dus maar enkele euro's hoger zijn.

Werkingsprincipe

- **Hoogte/breedte pulsen +
aantal pulsen >??>
concentratie**

- *Theorie:*
$$\text{aantal per grootte} \times$$
$$\text{massa per grootte}$$
$$= \text{concentratie}$$



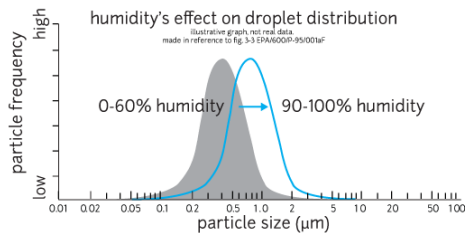
Maar hoe gebeurt die berekening nu precies? In de praktijk wordt de stroom van de fotodiode omgezet naar een voltage. Hier zien jullie de resulterende voltagepieken wanneer de sensor wordt blootgesteld aan de rook van een soldeerbout. De sensor gaat op basis van het aantal pieken, de breedte en de hoogte een berekening maken van de concentratie aan deeltjes. Hoe dat exact gebeurt is niet helemaal duidelijk en grotendeels bedrijfsgeheim. In theorie kan je het aantal deeltjes per grootteklasse vermenigvuldigen met de gemiddelde massa van de deeltjes per grootteklasse, waarbij je uitgaat van een vaste dichtheid van de deeltjes. Op die manier schat je dan de massaconcentratie uitgedrukt in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gekende problemen

- **Sensor overschat fijn stof bij hoge vochtigheid (mist)**

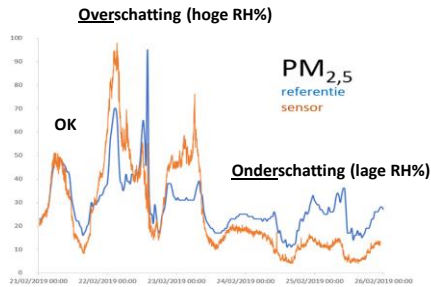
Vocht condenseert op de deeltjes waardoor ze voor de detector groter lijken

- **Onderschat bij droge lucht**
(oorzaak minder duidelijk)



Het is bekend dat de meting met de SDS011 beïnvloed wordt door luchtvochtigheid. Bij hoge luchtvochtigheid gaat de sensor letterlijk de mist in doordat het vocht condenseert op de deeltjes waardoor deze groter lijken voor de detector. Hierdoor wordt de concentratie fijn stof in de lucht overschat. Dit is ook te zien op de grafiek die aantoont dat de deeltjesgroottes schijnbaar hoger zijn bij hoge luchtvochtigheid. Bij lage luchtvochtigheid wordt de concentratie doorgaans onderschat, al is de oorzaak hiervan niet duidelijk.

5 moeilijke dagen...



Doorgaans wel meer OK dan niet OK



Op de grafiek wordt de meting van de SDS011 weergegeven in het oranje en de meting van het referentietoestel in het blauw. We hebben deze case intern benoemd als *The Good, The Bad and The Ugly*. De eerste dag presteerde de sensor redelijk goed, maar daarna volgden 2 dagen met hoge luchtvochtigheid en overschatte de sensor de fijnstofconcentraties in de lucht. Overschatten is natuurlijk slecht, want je gaat mensen onterecht ongerust maken. De laatste 2 dagen was de luchtvochtigheid laag, waardoor de sensor de PM_{2,5}-concentraties onderschatte. Da's natuurlijk nog erger dan overschatten, zeg maar ugly, want je geeft de mensen een vals gevoel van veiligheid. Gelukkig is deze case een vrij extreem voorbeeld en doet de sensor doorgaans vaker goede dan slechte metingen.

Toepassingsgebied?

- Compensatie bij hoge/lage luchtvochtigheid tot nu toe zonder veel succes, daardoor:
 - **Niet** bruikbaar voor meten **jaargemiddelde**
 - **Wel** voor **visualiseren** smogepisode of lokale bronnen zoals houtverbranding

Het is belangrijk om je te realiseren waarvoor de SDS011 sensor op een zinvolle manier gebruikt kan worden en waarvoor niet. Er is al vaak geprobeerd om een compensatie te voorzien voor de afwijkingen bij hoge en lage luchtvochtigheid, maar tot hiertoe zonder veel succes. Daardoor zijn de gegevens van de SDS011 niet bruikbaar om een voldoende nauwkeurig dag- en jaargemiddelde te berekenen en kunnen ze dus niet gebruikt worden om overschrijdingen van de Europese normen vast te stellen. De sensor is wel geschikt om smogepisodes of lokale bronnen van fijn stof zoals houtverbranding te visualiseren. Hieruit kunnen we hopelijk wat leren over lokale variaties in fijn stof concentraties en kan het een aantal controversiële zaken zichtbaar en bespreekbaar maken.

Partners

